

原子力発電所のコンクリート建家に使用する

耐放射線性塗料に関する研究 (その8)

——塗膜層間付着性におよぼす塗装間隔, 泥汚染, 素地調整法の影響——

喜田大三 住野正博

Studies on Irradiation Resisting Paints for Concrete Structures in Nuclear Power Plant (Part 8)

——Effects of Painting Intervals, Dirt Soiling and Preparation Method
of Dried Coat Surfaces on Adhesion Between Layers of Paint Coats——

Daizo Kita Masahiro Sumino

Abstract

It is necessary for layers of irradiation resisting paints to adhere tightly to each other in order to exhibit superior effects. It is said that such adhesion is greatly affected by the interval between painting of the layers. Further, the adhesion will be affected by dirt soiling dried undercoat surfaces. Therefore, experiments were conducted to make clear the effects of painting intervals, dirt soiling and preparation method of dried coat surfaces. The following results were obtained. (1) Adhesion between layers of paint coats was not affected very much by painting intervals. (2) Rotary disk sanders and rotary cup wire brushes were useful tools for removing dirt in preparation of dried undercoat surfaces. (3) Thinner should be added to the middle coat at a rate of dilution by the thinner of 5 to 10% in order to improve adhesion with the undercoat.

概 要

一般に塗装間隔が7~10日以上であれば塗り重ねた塗膜の層間で剝離するといわれている。一方、現場では塗装間隔が非常に長く、特に床面では下塗りから中塗りまで約1年を要する。そのため、現場では層間剝離防止のため、中塗りの際に下塗り塗膜の全面をディスクサンダー処理している。しかし、この処理で発生する粉塵は作業環境や既に設置している機器に好ましくない。また、この処理の効果は十分に検討されていない。そこで、塗装間隔、塗膜の泥汚染の有無と層間剝離との関係を下塗り塗膜面の素地調整法との関連で検討した。その結果、以下の知見を得た。(1) 塗膜層間の付着性は従来いわれている塗装間隔を大幅に過ぎた場合でも、塗り重ね時の素地調整で塗膜上の泥を除去し、ある程度の目粗しを行えばあまり低下しなかった。(2) 素地調整法のうちディスクサンダー処理とカップワイヤーブラシ処理は同等の層間剝離の防止効果を有していた。(3) 層間付着性向上のためには塗り重ねる中塗り塗料のシンナー希釈率が5~10%程度、必要であった。

1. はじめに

原子力発電所の原子炉建家、補助建家および一次系建家の室内コンクリート面には耐放射線性塗料が塗装されている。同塗料が優れた諸性能を発揮するためには、塗膜・下地コンクリート間のみならず塗膜・塗膜間でも十分に付着することが要求される。この付着性が前者で優

れていても後者で劣る場合には、当然のことながら塗料の所期性能は発揮されない。後者の付着性には塗装間隔が大きく影響するといわれている。

一般にエポキシ塗料では塗装間隔が7~10日以上の場合には、塗膜の層間付着性が十分に発揮されないといわれている。しかし、実際の現場では塗装間隔が非常に長く、特に床面では下塗り後、塗装作業は中断され、約1

年かけて機器を搬入後、再び中塗り、上塗りの順に塗装されている。この中断のあいだに床面は作業者の靴底に付着した泥などで非常に汚染される。そのため、現場では下塗り・中塗り塗膜層間の剝離を防止するため、中塗り実施時に約1年前の下塗り塗膜の全面をディスクサンダー処理している。しかし、この処理時に発生する粉塵は既に設置している機器、さらには作業環境にとって好ましくない。また、同処理の効果についてあまり検討されていないのが現状である。そこで、塗装間隔、塗膜の泥汚染と層間剝離との関係を下塗り塗膜面の素地調整法との関連で検討した。

本報では塗装間隔、塗膜面の泥汚染の有無、素地調整法の違いならびに塗り重ね塗料のシンナー希釈率の違いが塗膜層間の付着性におよぼす影響について常温放置時、高温高湿暴露時で検討した資料を報告する。

2. 供試塗料および供試体の作製

2.1. 供試塗料

市販の耐放射線性塗料から塗料Ⅰ～Ⅳを供試した。

2.2. 被塗装体の作製

所定配合のコンクリートでサイズ 80×80×200 mm のブロックを作製し所定期間、水中養生した¹⁾。次いで pF 5.5 の条件に所定期間、養生した¹⁾。なお、被塗装体の上面は床面を想定している。

2.3. 供試体の作製

被塗装体をディスクサンダー処理したのちにウエスふきし、メーカー指定の仕様に仕上げて熟練者が刷毛で全面に下塗り塗料を塗装した。塗装後、室内に1および15ヶ月間放置した。次いで床面の塗膜をウエスふきおよびディスクサンダー処理でそれぞれ素地調整後、同様に熟練者が1日、1回の割合で全面に塗り重ねた。また、下塗り後15ヶ月間放置していたブロックの床面に水分を含む泥(砂:土=1:1)を散布し、靴底で強制的にこすりつけ、人為的に塗膜を泥で汚染した。この汚染塗膜面をウエスふき、ディスクサンダー処理およびカップワイヤーブラシ処理でそれぞれ素地調整後、同様に塗り重ねた。上塗り終了後、室内で30日間養生し、前者を泥で汚染されていない床面の下塗り塗膜に塗り重ねた供試体、後者を泥で汚染されたそれに塗り重ねた供試体として、実験に供した。

3. 実験方法

常法によって常温放置および高温高湿3日暴露(約140℃, 約100%)後の床面における塗膜付着力と破断コンクリート厚さを測定した¹⁾。また、下塗り塗膜と中塗り塗膜の層間剝離部分のサイズを精度0.5 mmのステンレス製メジャーで測定し、その部分の面積を概算した。次

いで、付着力を測定した全面積に占める層間剝離面積の割合(%)を求めた。

4. 実験結果と検討

4.1. 泥で汚染されていない塗膜の層間付着性の検討

4.1.1. 層間付着性への塗装間隔の影響 一般にエポキシ塗料では、塗装間隔が7~10日以上の場合には塗り重ねた塗膜の層間で剝離するといわれている。そのため、現場では特に床面に中塗りする際、約1年前に塗装した下塗り塗膜の全面をディスクサンダーで研磨、目粗しして塗膜層間の付着性向上をはかっている。しかし、このディスクサンダー処理(以下、ディスク処理という)で発生する粉塵は作業環境および既に設置している機器に好ましくない。また、この処理が層間剝離防止にどの程度有効であるのか明らかでない。

そこで、まず泥で汚染されていない床面の下塗り塗膜面にウエスふきおよびディスク処理したのちに塗り重ね、下塗り塗膜と中塗り塗膜との層間付着性を検討した。その際、塗膜が完全に硬化し、耐薬品性等も完全に発揮できる1ヶ月を最も短い塗装間隔にとり、それ以上の間隔として15ヶ月を採用した。また、塗膜の層間付着性は常温放置時および高温高湿3日暴露時(約140℃, 約100%)について検討した。

結果は明示しないが、前述したいずれの塗装間隔、素地調整法ならびに暴露条件においても塗膜付着力は30 kg/cm²以上を示し、破断したコンクリート部分の厚さは0.5 mm以上を示した。このことから、下塗り塗膜は下地コンクリートに十分に付着していると判定した。

さて、塗膜付着力を測定した際、下塗り塗膜と中塗り塗膜の層間剝離の有無を調べた。層間剝離部分については層間剝離割合を求め、結果を表1に示す。この割合は付着力を測定した全面積に占める層間剝離部分の面積の割合を示す。当然のことながら、この割合が小さいほど層間付着性は良好であることを示す。

表1において、塗膜の層間剝離割合は塗料銘柄でかなり異なる。塗料Ⅱ、Ⅳには塗装間隔15ヶ月で層間剝離が認められ、1ヶ月では常温放置時のみならず高温高湿暴露時にも認められない。また、15ヶ月におけるその割合はウエスふき、ディスク処理のいずれにおいても1~2%と非常にわずかである。

一方、塗料Ⅰ、Ⅲでは層間剝離がいずれの塗装間隔、素地調整法ならびに暴露条件においても認められる。例えば塗料Ⅰの常温放置の場合、ウエスふきの層間剝離割合は塗装間隔1ヶ月で4.7%、15ヶ月ではやや増大して5.1%を示す。また、ディスク処理の層間剝離割合は塗装間隔1ヶ月で0.7%と非常にわずかであり、15ヶ月ではや

暴露条件	素地調整法	塗装 間隔	塗料	銘柄			
				I	II	III	IV
常温 放置	ウエス ぶき	1月		4.7	—	1.1	—
		15		5.1	1.6	3.4	2.6
	ディスク 処理	1		0.7	—	0.6	—
		15		2.0	1.4	2.9	2.0
高温 高湿 暴露	ウエス ぶき	1		4.0	—	2.0	—
		15		6.7	1.1	4.5	1.6
	ディスク 処理	1		1.0	—	1.0	—
		15		6.0	1.5	3.7	0.9

注) 表中の—は層間剝離の発生していないことを示す

表一 泥で汚染されていない塗膜の層間剝離割合(%)

や増大して2%を示している。この割合はいずれも前述のウエスぶきの場合よりも小さい。同様の傾向は塗料Ⅲでも認められる。このことは泥で汚染されていない塗膜にウエスぶき等を行なって塗り重ねれば、塗装間隔が非常に長くなった場合でも常温放置時における塗膜の層間付着性はあまり低下しないことを示している。また、層間付着性は塗り重ね時にディスク処理することで向上することを示している。

高温高湿暴露時の層間剝離は程度に差異のあるものの、ウエスぶきおよびディスク処理のいずれにおいても常温放置時と同様の傾向が認められる。その際、ウエスぶきにおける塗料Ⅰの塗装間隔1ヶ月およびⅡの15ヶ月、塗料Ⅳにおける塗装間隔15ヶ月を例外とするが、高温高湿暴露時の層間剝離割合はウエスぶき、ディスク処理のいずれにおいても常温放置時よりも増加している。このことは同じ素地調整を行なって塗り重ねた場合、層間剝離が高温高湿暴露時で常温放置時よりも増加する傾向にあることを示唆している。

以上のことから、塗膜が泥で汚染されていない場合には、従来いわれている塗装間隔を大幅に過ぎた場合でも塗膜の層間付着性はあまり低下しないと判断された。その際、この層間付着性は塗り重ね時にディスク処理することでウエスぶきの場合よりも向上すると判断された。また、この層間付着性には塗料銘柄でかなり差異があると判断された。

4.1.2. ディスク処理の層間剝離の防止効果 前述のことから層間剝離はディスク処理でウエスぶきよりも減少できることが判明した。そこで、ディスク処理の効果を明らかにするため、表一1から各塗料についてディスク処理時の層間剝離割合(a)とウエスぶき時のそれ(b)

暴露条件	塗装 間隔	塗料	銘柄			
			I	II	III	IV
常温 放置	1月		0.15	—	0.55	—
	15		0.39	0.87	0.85	0.77
高温 高湿 暴露	1		0.24	—	0.50	—
	15		0.89	1.36	0.82	0.56

注) 表中の—は層間剝離の発生していないことを示す

表一2 層間剝離割合の(ディスク/ウエス)比

との比(a/b)を求め、表一2に示す。当然のことながら同比が1以下で、しかもその値の小さいほどディスク処理の効果が大きいことを示す。

同表において、塗料Ⅱの塗装間隔15ヶ月・高温高湿暴露時の場合を例外とするが、同比はいずれも1以下を示し、ディスク処理が層間剝離の減少に有効であると判断される。その際、常温および高温高湿暴露時における同比は塗料Ⅰ、Ⅲにおいて塗装間隔の長いほど大きくなっている。このことは塗装間隔の長くなるほど、ディスク処理の効果が低下することを示唆している。これについてはあとで詳述する。

また、同比には塗料銘柄で著しい差異が認められる。例えば塗装間隔15ヶ月・常温放置の場合、最小の同比は塗料Ⅰの0.39すなわちウエスぶき時の61%減、最大の同比は塗料Ⅱの0.87すなわち13%減であり、両者の差は大きい。このことはディスク処理の効果が塗料銘柄でかなり異なることを示している。

次にディスク処理効果への塗装間隔の影響について検討する。前述したようにディスク処理の効果は塗装間隔の長くなるほど低下する傾向にある。

そこで、ディスク処理効果におよぼす塗装間隔の影響を明らかにするため、表一1からディスク処理時における塗装間隔1ヶ月の層間剝離割合(c)と15ヶ月のそれ(d)との比(c/d)を求め、表一3に示す。当然のことながら、同比が1以下であれば塗装間隔15ヶ月におけるディスク処理の効果は1ヶ月のそれよりも低下していることを示す。その際、

暴露条件	塗料	銘柄	
		I	III
常温放置		0.35	0.21
高温高湿暴露		0.17	0.27

表一3 層間剝離割合の塗装間隔比——ディスク処理の場合——

塗料Ⅱ、Ⅳには層間剝離が塗装間隔1ヶ月で認められなかったため、同表には両塗料について表示していない。

同表において、同比はいずれも1以下

を示しており、塗装間隔15ヶ月のディスク処理効果は1ヶ月のそれよりも低下していると判断される。その際、同比は大きい場合で0.35, 小さい場合で0.2前後を示している。このことは、塗装間隔15ヶ月のディスク処理効果が1ヶ月のその1/5~1/3程度しか発揮されていないことを示す。

以上のことから、塗料の銘柄で差異があるが、層間剝離割合は常温放置時、高温高湿暴露時のいずれにおいても、ディスク処理によってウエスふき時の10~60%程度減少できると判断された。また、ディスク処理の効果は塗装間隔の長くなるほど低下すると判断された。

4.2. 泥で汚染された塗膜の層間付着性の検討

4.2.1. 層間付着性への泥汚染の影響 現場の状況を考えた場合、特に床面の下塗り塗膜では作業者の靴底に付着した泥などによる汚染が塗膜の層間付着性に大きく影響すると予想される。

そこで、15ヶ月前に塗装し放置していた床面の下塗り塗膜表面を強制的、人為的に泥汚染した場合について、塗り重ね時の素地調整法と塗膜の層間付着性との関係を検討した。その際、素地調整はディスク処理、粉塵発生の少ないカップワイヤーブラシ処理ならびにウエスふきで行ない、その効果を比較、検討した。

表-4に泥汚染塗膜に塗り重ねた場合の層間剝離割合と塗り重ね時の素地調整法との関係を示す。

暴露条件	素地調整法	塗料		銘		柄	
		I	II	III	IV		
常温 放置	ディスク処理	2.0	1.6	4.7	1.8		
	カップワイヤー ブラシ処理	1.5	1.7	3.7	1.8		
	ウエスふき	4.1	3.8	16.6	2.8		
高温 高湿 暴露	ディスク処理	2.2	1.3	3.2	1.8		
	カップワイヤー ブラシ処理	2.7	1.5	2.7	1.4		
	ウエスふき	2.7	2.4	8.9	3.3		

表-4 泥で汚染された塗膜の層間剝離割合(%)
——塗装間隔15ヶ月の場合——

同表の常温放置時において、層間剝離の割合は素地調整法で異なる。その割合はディスク処理やカップワイヤーブラシ処理では剝離の少ない塗料で塗装面積の約2%, その多い塗料で約5%であり、ウエスふきでは前者で3~4%, 後者で約17%である。このことは、泥汚染塗膜にディスク処理およびカップワイヤーブラシ処理して塗り重ねた場合の層間付着性は同程度であり、ウエスふきのそれは前の二法よりも劣ることを示している。また、層間剝離の程度は塗料銘柄で異なり、塗料IIIの層間剝離

割合はいずれの素地調整法においても他の塗料よりも2~12%多い。このことは同じ素地調整を行なった場合、層間付着性が塗料銘柄で異なることを示している。また高温高湿暴露時の層間剝離は程度に差異のあるものの、いずれの素地調整法においても常温放置時と同様の傾向が認められる。

以上のことから、下塗りで長期間放置したために下塗り塗膜が泥で汚染された場合、塗膜の層間付着性は泥を除去する際の素地調整法で異なり、ディスク処理とカップワイヤーブラシ処理で同程度、ウエスふきでは前の二法よりもかなり劣ると判断された。また、同じ素地調整を行った場合の塗膜の層間付着性は塗料銘柄で異なると判断された。

4.2.2. 各種素地調整法の層間剝離の防止効果 前述したように、塗膜層間の剝離は塗り重ね時に下塗り塗膜面に実施するディスク処理とカップワイヤーブラシ処理で同程度であり、ウエスふきでは前の二法よりもかなり多い。そこで、ディスク処理による層間剝離の防止効果と他の素地調整法のそれを常温放置時、高温高湿暴露時について詳細に比較、検討する。

表-4からディスク処理の層間剝離割合(e)とカップワイヤーブラシ処理ならびにウエスふきのそれ(f)との比(f/e)を求め、表-5に示す。当然のことながら同比が1の場合には層間剝離の防止効果はディスク処理と同じであり、1以下の場合にはディスク処理よりも防止効果が大きいことを示す。

暴露条件	素地調整法	塗料		銘		柄	
		I	II	III	IV		
常温 放置	カップワイヤー ブラシ処理	0.75	1.06	0.78	1.00		
	ウエスふき	2.05	2.37	3.53	1.55		
高温 高湿 暴露	カップワイヤー ブラシ処理	1.22	1.15	0.84	0.77		
	ウエスふき	1.22	1.84	2.78	1.83		

表-5 層間剝離割合の素地調整比
——ディスク処理時の割合
を1にした場合——

同表において、常温放置時におけるカップワイヤーブラシ処理の場合、同比は0.75~1.06であり、同処理による層間剝離面積がディスク処理時の25%減から6%増であることを示している。このことはカップワイヤーブラシ処理による層間剝離の防止効果がディスク処理のそれと同等以上であることを示している。ウエスふきの場合、同比は1.55~3.53であり、同処理による層間剝離面積がディスク処理時の1.5~3.5倍増であることを示してい

る。このことはウエスぶきによる層間剝離防止効果がディスク処理のそれよりも著しく劣ることを示している。

高温高湿暴露時におけるカップワイヤーブラシ処理の場合、同比は0.77~1.22であり、同処理による層間剝離面積が塗料銘柄でディスク処理時の約20%増減している。このことは、カップワイヤーブラシ処理による層間剝離の防止効果が塗料銘柄によって、高温高湿暴露時にディスク処理よりも劣る場合のあることを示している。ウエスぶきの場合、同比は1.22~2.78であり、同処理による層間剝離面積がディスク処理時の1.2~2.7倍増であることを示している。このことはウエスぶきによる層間剝離の防止効果が高温高湿暴露時にディスク処理のそれよりも著しく劣ることを示している。

以上のことから、塗料銘柄で多少の差異があるが、泥汚染した塗膜に塗り重ねる際の素地調整法のうち、ディスク処理とカップワイヤーブラシ処理は同程度の層間剝離防止効果を有し、ウエスぶきでは前の二法よりも著しく劣ると判断された。それゆえ、カップワイヤーブラシ処理は塗り重ね時に従来、採用されていたディスク処理に代用できると判定された。

4.2.3. 層間付着性への塗り重ね塗料のシンナー希釈率の影響 表一4で前述したように、常温放置および高温高湿暴露時における塗料Ⅲの層間剝離割合は同じ素地調整法と比較した場合、他の三銘柄のそれよりも大きく、特にウエスぶきでかなり大きい。一方、他の三銘柄の層間剝離割合を同じ素地調整法と比較した割合、その割合にはあまり差異が認められない。また、塗料Ⅲ自身で層間剝離割合と素地調整法との関係をみれば、その割合はウエスぶき時でディスク処理およびカップワイヤーブラシ処理時よりもかなり大きい。

このように同じ素地調整を実施したにもかかわらず、塗料Ⅲの層間剝離割合が他の塗料のそれよりも大きくなり、またウエスぶき時にかなり大きくなる原因として、塗料性能の違い、硬化塗膜面の濡れ易さの違い等が考えられる。塗料性能の違いは施工上、どうすることもできないので、ここでは硬化塗膜面の濡れ易さに影響する要因に着目して検討する。

さて、硬化塗膜面の濡れ易さ、いいかえれば硬化した下塗り塗膜面へ塗り重ねる中塗り塗料の拡がり易さには、塗料のシンナー希釈率や粘度が大きく影響すると考えられる。そこで、各塗料について塗り重ね時の中塗り塗料のシンナー希釈率を調べた。その結果、希釈率は塗料Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳでそれぞれ10、5、0、10%であり、塗膜層間

付着性の劣った塗料Ⅲだけがシンナーで希釈されていないことが判明した。

このことから、塗膜層間の付着性を向上し、その層間剝離を防止するには塗り重ね時の素地調整法のみならず塗り重ねる中塗り塗料のシンナー希釈率も考慮することが必要であると判断された。そして、必要なシンナー希釈率は5~10%程度と判定された。

5. まとめ

原子力発電所一次系建家の室内コンクリート面に塗装する耐放射線性塗料には、長い塗装間隔で塗り重ねた場合にも塗膜層間で剝離しない付着性が要求される。しかし、塗装間隔と層間剝離については十分に検討されておらず、また層間剝離防止のために現場で従来、実施しているディスクサンダー処理の効果も十分に検討されていないのが現状である。

そこで、下塗り塗膜面の泥汚染の有無、塗り重ね時の下塗り塗膜面の素地調整法と最大15ヶ月で塗り重ねた場合の塗膜の層間付着性を常温放置時のみならず高温高湿3日暴露時について検討した。その結果、塗膜の層間付着性は従来いわれている塗装間隔を大幅に過ぎた場合でも、塗り重ね時に行なう素地調整で塗膜上の泥を十分に除去し、ある程度の目粗しを行えばあまり低下しないと判断された。素地調整による塗膜の層間剝離防止効果はディスクサンダー処理と粉塵発生が少ないカップワイヤーブラシ処理と同程度であり、後者は従来、素地調整に採用していた前者に代用できると判定された。また、塗膜の層間付着性を向上するためには、塗り重ねる中塗り塗料のシンナー希釈率を考慮する必要があり、必要なシンナー希釈率は5~10%程度と判定された。さらに同じ素地調整を行なった場合の塗膜の層間付着性は高温高湿暴露時で常温放置時よりも低下する傾向にあると判断された。

最後に、本研究は関西電力(株)総合技術研究所構築研究室と共同で進めたものである。研究の実施にあたり構築研究室の原田次夫前主幹、横野一前主任研究員、近藤正紘研究員には実験計画の段階から参加していただいたことを記し、深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 喜田, 住野, 後藤: 原子力発電所のコンクリート建家に使用する耐放射線性塗料に関する研究, (その4) 大林組技術研究所報, No. 16, (1978), pp. 107~111